

資源循環型河川管理の枠組み構築に向けた 実証実験 ーオニビシ、ナガエツルノゲイトウの堆肥化 を例にー

大寄 真弓¹・片桐 浩司²・萱場 祐一³

¹正会員 国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: ooyori@pwri.go.jp

²非会員 国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: k-katagiri55@pwri.go.jp

³正会員 国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: y-kayaba@pwri.go.jp

印旛沼においては、水生植物であるオニビシ、ナガエツルノゲイトウの繁茂域拡大が、河川管理上の問題となっている。河川管理者は、繁茂したこれらの植物を駆除しているが、水生植物は水分を多く含むため、焼却処分費は割高となる。特に特定外来生物ナガエツルノゲイトウは、植物体の断片から再生するため、駆除後、迅速かつ適切な処分が必要となるが、現状は焼却以外の処分方法が確立していない。このような状況を踏まえ、本研究では、民間企業が持つ高温発酵処理技術の活用により、処分方法に課題を抱える水生植物が、短期間で堆肥化できることを示した。またこの方法により、一般的な焼却処分と比較して処分費縮減が図れることを示した。

Key Words : river management, framework construction, composting, *Trapa natans*, *Alternanthera philoxeroides*

1. 背景と目的

(1) 背景

千葉県北部に位置する印旛沼は、昭和44年完成の印旛沼開発事業により、西部調整池（西印旛沼）、北部調整池（北印旛沼）が捷水路で結ばれた現在の形状となった。印旛沼は今日に至るまで、貯水池として、千葉県経済を支える重要な役割を担ってきたが、開発事業に伴う人為的改変等の直接的な要因、周辺域の開発や人口増加に伴う流入負荷の増大等の間接的な要因により、沼の富栄養化が進行し、水質が急激に悪化した。これらの変化による沼内の沈水植物の消滅、浮葉植物オニビシの過剰繁茂など、生態系劣化の問題も深刻化している。

近年は、オニビシの過剰繁茂に加え、環境省が指定した特定外来生物ナガエツルノゲイトウ（図-1 印旛沼で

は1990年に初記録¹⁾）が繁茂域を拡大するなど、新たな問題が顕在化している。

オニビシ、ナガエツルノゲイトウの繁茂は、漁船の航行障害、河川の流水阻害を引き起こすため、河川管理上の問題となっており、河川管理者はこれらの水生植物を

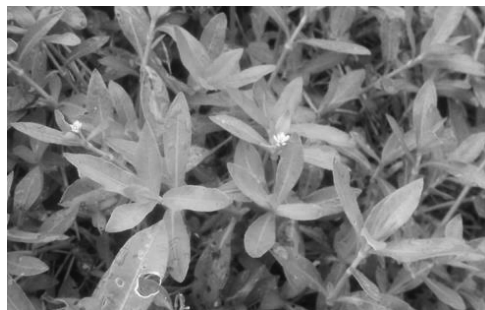


図-1 特定外来生物ナガエツルノゲイトウ

駆除している。しかし、駆除した植物を処分する際、河川管理者にとって、次のような点が問題となる。

- ・ 水生植物は腐敗しやすく悪臭が出やすいため、近隣住民からの苦情を考慮すると、駆除後、水抜きのための野積みが困難である。
- ・ 河川管理者が駆除する水生植物は大量であり、悪臭の出ない密閉した状態で乾燥可能な施設がない。
- ・ 水生植物は水分を多く含むため、処分費用が割高であるが、都市部に近い印旛沼のような立地条件下では、水分を多く含んだまま処分せざるを得ない。
- ・ 処分場の受け入れ量にも限度があるため、駆除量は処分可能な量に制限される。
- ・ 特定外来生物ナガエツルノゲイトウは、植物体の断片からでも再生するため、駆除後は、悪臭に加え、再拡散防止にも配慮が必要である。このような理由から、河川管理者は駆除後、ナガエツルノゲイトウを迅速に、かつ確実な方法で処分する必要があるが、現状は焼却以外の方法がない。

(2) 目的

a) 資源循環型河川管理の枠組み

著者らはこのような現状を踏まえ、処分方法に課題を抱える水生植物を資源化し、流域での活用を図る、資源循環型河川管理の枠組み構築を、印旛沼流域で進めている。本枠組みは、河川管理上発生する処分が必要な水生植物を、焼却処分せずに、堆肥という資源に変換し、地域内での利活用を進めることにより、水生植物の割高な処分費用の縮減、処分場の受け入れ量に制限されない水生植物の駆除の実施による、印旛沼の環境改善への寄与を目指している。同時に、このような資源の活用により、地域住民（ここでは河川管理者以外を指す）の、印旛沼や印旛沼の環境に対する関心の高まりを期待している。本枠組みは、具体的な取り組みに向け始動したばかりであるが、富栄養化が進行した印旛沼においては、過剰繁茂した植物の駆除、処分が今後も課題となることが想定され、枠組み構築の実現が必要である。

なお、地域内での資源循環を目指し、堆肥化、堆肥の活用を検討する類似の取り組み事例²⁾においては、堆肥完成までに要する期間の長さが課題となる。前述の事例では、堆肥化に4カ月以上を要している。堆肥完成までの期間の長期化は、堆肥化施設の回転率低下を招き、堆肥化前の材料の収納場所不足の原因となる。

以上の背景を踏まえて本研究では、以下の点を明らかにすることを目的とし、実証実験を行った。

- ① 河川管理上、処分が必要なオニビシ、ナガエツルノゲイトウを材料とし、地域で利活用できる堆肥に変換することが可能かを検証する。

- ② 堆肥化施設の回転率を上げるため、できるだけ短期間で堆肥化が可能かを検証する。
- ③ オニビシ、ナガエツルノゲイトウの堆肥化により、処分費縮減が可能かを検証する。
- ④ ナガエツルノゲイトウを材料とした堆肥から、植物体の再生がないかを検証する。

本研究で言う堆肥は、肥料取締法³⁾の特殊肥料等で指定するたい肥（動植物質の有機質を堆積又は攪拌し、腐熟させたもの）であり、堆肥化はたい肥にすること、と定義する。

2. 方法

(1) 水生植物の入手

堆肥の材料とする水生植物のうち、オニビシは平成27年8月20日に、ナガエツルノゲイトウは同年9月23日に、河川管理者が北印旛沼及び、西印旛沼の流入河川新川支川の桑納川で駆除したものの一部を入手した。入手したオニビシは5.1m³、ナガエツルノゲイトウは2.8m³であった。本実証実験の実施に際しては、環境省より駆除、運搬等の許可を得ている千葉県土木事務所を通じ、環境省の承認を得た。

(2) 民間企業の技術を活用した堆肥化実証実験

入手したオニビシ、ナガエツルノゲイトウを用いて、堆肥化実証実験を行った。実証実験は、特殊な発酵菌の利用による、高温発酵処理技術を持つ民間企業、(有)大洋土づくりセンター（茨城県鉾田市、以下、土づくりセンター）に依頼した。土づくりセンターは、地域の酪農家が処分に苦慮していた牛の糞尿を、適正に処理するために設立された共同出資の企業である。堆肥の材料は、出資酪農家から出る牛の糞尿の他、出資野菜農家等から出る収穫残さ等である。完成した堆肥は、酪農家、農家に還元され、地域内で循環する仕組みを成立させている。

土づくりセンターが持つ高温発酵処理技術の特徴は、堆肥化する材料の水分が多いままでも、堆肥化の工程に材料を投入可能であること、一次発酵終了に4日間、二次発酵終了に4日間の計8日間で堆肥を完成させる、発酵期間の短さである。土づくりセンターの堆肥の品質には定評があり、16年の実績がある。

a) 材料の混合

オニビシは平成27年8月20日に、ナガエツルノゲイトウは9月23日に、それぞれ土づくりセンターに運搬し、ショベルローダーを用いて、水分調整用の副材、発酵菌とが均一になるように混合後、発酵槽への積み込みを行った。副材は、オニビシにはトウモロコシ芯、茎、ナガエツルノゲイトウには堤防の刈り草を用いた。副材は、

オニビシ、ナガエツルノゲイトウがそれぞれ土づくりセンターへ搬入された時点で、利用可能な材料としたが、将来的に、本実証実験を印旛沼近傍で再現することを考慮し、手に入り易い材料を選定した。堆肥化に用いた材料の量は表-1のとおりである。

表-1 堆肥化に用いた材料

	採取量(m ³)	副材量(m ³)	発酵菌量(m ³)
オニビシ	5.1	10.0	0.4
ナガエツルノゲイトウ	2.8	6.8	0.4

b) 堆肥の腐熟度の判断

堆肥が未熟か完熟かを判断する腐熟度については、客観的な判定法が確立していない⁴⁾。堆肥化は、好気性微生物の働きを活用する技術であり、その過程では、堆積した材料中の易分解性有機物が、好気性微生物によって分解される際に発熱し、堆積物の温度が上昇する。その後、温度は次第に低下するが、切り返しによる空気供給で、再び上昇する。この温度の上昇、下降のパターンは、堆積物中に易分解性有機物が存在する限りは繰り返されるが、堆積物の温度が外気温と同じ程度まで下がり、切り返しを行っても発熱しなくなれば、堆肥は腐熟したと考えられる⁴⁾という。また腐熟度は、複数の方法を組み合わせて判断する方がよい⁴⁾とされることから、本研究では、堆積した材料の温度変化、堆肥の色調⁹⁾により腐熟度を判断した。

腐熟度を把握するために、堆積した材料の温度を計測、記録した。オニビシの堆積物の温度計測は8月21日から、ナガエツルノゲイトウの堆積物は9月24日から開始した。実証実験中は、ショベルローダーで適宜切り返しを行い、堆積した材料の温度が外気温と同じ程度に下がるまで温度の計測を行った。

c) 堆肥成分の分析

堆積した材料が、十分に腐熟したと判断された後、専門的分析機関（一般社団法人茨城県環境管理協会）において、肥料分析法⁶⁾に基づく成分の分析を行った。

d) 費用の比較

堆肥化にかかった費用と、一般的な廃棄物処理施設で、水生植物を焼却処分する際にかかる費用との比較を行った。

e) ナガエツルノゲイトウ再生可能性の検証

ナガエツルノゲイトウは、植物体の断片からでも再生が可能であるため、堆肥化し、資源として利活用する際には、堆肥からの植物体の再生がないことが不可欠である。ナガエツルノゲイトウについては、平成19年に印旛沼流域において、堆肥化が試みられていた⁷⁾ものの、現時点では実用化されていない。そこで本研究では、ナガエツルノゲイトウ堆肥の利用を推進するために、堆肥化

過程の発酵温度による植物体の死滅について検証した。

3. 結果と考察

(1) 堆肥の腐熟度の判断

発酵槽のオニビシの堆積物及びナガエツルノゲイトウの堆積物の温度変化を図-2に示す。

オニビシ、ナガエツルノゲイトウともに、副材、発酵菌との混合日を0日とし、混合日からの経過日数と温度の関係を見た。オニビシでは、混合3日目に堆積物の温度が60℃となった。その後上昇し、混合4日目には、最高の66℃に達した。その後下降したが、切り返しにより混合11日目に再び66℃まで上昇した。その後下降し、混合14日目に40℃まで低下し、これ以降の温度上昇がなかったこと、色調が濃く、材料の原型をとどめていなかったことから、混合14日目に十分に腐熟したと判断した。

ナガエツルノゲイトウでは、混合2日目に温度が79℃に急上昇した。混合4日目は欠測したが、混合5日目には37℃にまで低下した。切り返しによる酸素供給により、再び上昇し、混合9日目に57℃となった。混合11日目は再び欠測したが、混合12日目に34℃にまで低下した。これ以降の温度上昇がなかったこと、色調が濃く、材料の原型をとどめていなかったことから、混合12日目に十分に腐熟したと判断した。本実証実験で、オニビシ、ナガエツルノゲイトウの堆肥化に要した期間は、それぞれ14日、12日と判断され、一般的に堆肥の腐熟に要するとされる期間³⁰⁾と比較して短期間となった。

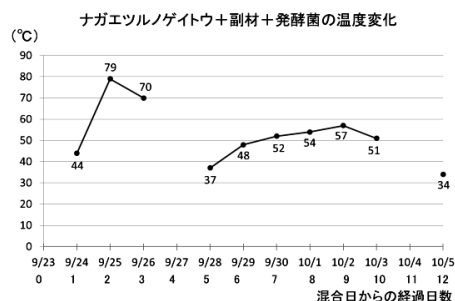
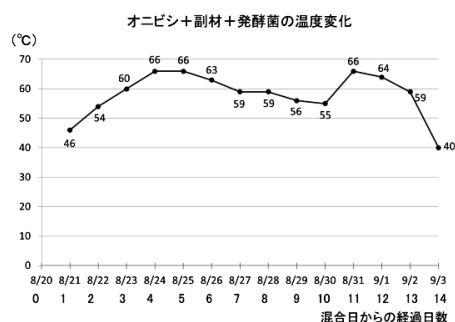


図-2 発酵中の温度変化

(2) 成分の分析

オニビシ、ナガエツルノゲイトウを材料とした堆肥の成分分析結果を表-2 に示す。同様の条件下で作られた堆肥であることから、比較する堆肥として、土づくりセンターで通常販売している堆肥を選定した。肥料取締法で特殊肥料に区分されている堆肥には、普通肥料のような品質基準は定められておらず、窒素、リン酸、カリウムなどの含有率についての品質推奨基準⁹⁾があるのにとどまっている。土づくりセンターの堆肥は、定期的に専門の分析機関（一般社団法人茨城県環境管理協会）における分析を受けており、品質推奨基準を満たしている。

オニビシ堆肥、ナガエツルノゲイトウ堆肥ともに、土づくりセンターの堆肥と比較して、リン酸の割合が高いことが示された。オニビシ堆肥では、リン酸の含有量が一般的な堆肥の約1.6倍、ナガエツルノゲイトウでは約2倍であった。高いリン酸は、地球規模で生じるリン枯渇問題の解決に貢献する可能性がある。オニビシ堆肥のカリウム含有量が品質推奨基準1%を下回ったものの、その他の項目については、品質推奨基準を満たしていた。リン酸及びその他の成分について、今後繰り返しの堆肥化実証実験を行い、オニビシ、ナガエツルノゲイトウという材料の種類による特徴が否かを検証する必要がある。

表-2 堆肥成分の比較

	土づくりセンター の堆肥	オニビシ 堆肥	ナガエツルノゲ イトウ堆肥
窒素(%)	1.64	1.41	1.94
リン酸(%)	1.11	1.81	2.19
カリウム(%)	2.52	0.48	1.06
カルシウム(%)	1.61	0.89	1.71
水分含有量(%)	30.5	32.1	24.9
pH	8.8(22.5℃)	7.7(22℃)	7.8(23℃)
銅(mg/kg)	20	35	56
亜鉛(mg/kg)	117	94	165
C/N	10.4	15.1	12.2
有機炭素(%)	17	21.3	23.7

(3) 費用の比較

本研究の実証実験で、堆肥化にかかった費用は15～20円/kgであった。一般的な破棄物処理施設における処分費用との比較を行うために、比較対象として、茨城県の公共施設である、（一財）茨城県環境保全事業団エコフロンティアかさまを選定した。エコフロンティアかさまにおいては、オニビシ、ナガエツルノゲイトウ等の水生植物を処分する場合、有機性汚泥（汚泥以外の固形物が混入していないもの）として受け入れ（施設への聞き取りによる）焼却処分する。その際の処分費は、37.6円/kgとなる⁹⁾。従って、本実証実験で活用した技術による水生植物の堆肥化は、一般的な焼却処分と比較して、費用の縮減が期待できることが示された。なお、本研究の堆肥化にかかった費用には、茨城県鉾田市までの駆除植物の運搬費用を含めていない。将来的には、駆除する水生

植物が発生する場所の近傍に、土づくりセンターのような堆肥化技術を持つ施設が建設され、運搬費用が縮減されることが望まれる。

因みに、民間の廃棄物処理業者への聞き取りによれば、民間の廃棄物処理施設では、他の処理物の搬入状況により、河川管理者が駆除した水生植物の受け入れの可否が変化する。つまり、処分費用を支払えば、いつでも必ず受け入れが可能なのではないのが実情である。ナガエツルノゲイトウのように、駆除後、迅速に処分する必要がある植物については、特に、処分費の高低に依らない、焼却以外の処分方法の選択肢の検討が必要である。

(4) ナガエツルノゲイトウの再生可能性の検証

家畜糞を材料とした堆肥の場合、完成した堆肥中に、家畜飼料に含まれる雑草の種子が混入する。雑草の種子は、家畜の消化管を通っても死滅することがないため、堆肥を畑に施用した際、この残存した種子からの発芽が問題となる⁴⁾。しかし、堆肥化の過程で最高温度が60℃の場所に、2日間埋設した種子は完全に死滅する⁴⁾。近年は、輸入飼料原料に混入して、世界各国から様々な雑草の種子が持ち込まれるが、繁殖力が旺盛で強質な外来雑草の種子であっても、60℃程度まで温度を上げれば、そのほとんどが死滅するという⁴⁾。

本研究の実証実験では、ナガエツルノゲイトウの堆肥化の過程において、種子死滅に必要とされる60℃を上回る、70℃～79℃を2日以上経ていることから、堆肥からの植物体の再生可能性はないと判断した。なお、本実証実験で完成したナガエツルノゲイトウの堆肥については、平成28年5月に、印旛沼近傍の、千葉県八千代市桑納地区の畑、7月に茨城県つくば市の有機野菜農家の畑において、地元農家の協力の元で施用したが、堆肥からの植物体の再生は見られなかった。

4. おわりに

本研究では、資源循環型河川管理の枠組み構築を進めるために、過剰繁茂が河川管理上の問題となり、河川管理者が駆除、処分を行っている水生植物オニビシ、ナガエツルノゲイトウについて、従来の割高な焼却処分以外に、短期間での堆肥化が可能であることを示した。しかし本研究では、駆除植物の供給量の限界、継続性については、検証していない。特定外来生物ナガエツルノゲイトウは、地域内での根絶が望まれるため、今後も駆除、処分の問題が継続すると予想される。またオニビシについても、過剰繁茂の状況は続くものと予想される。しかし、オニビシは、生物の生息場としての機能も果たしており¹⁰⁾、根絶を目指すものではない。現状は駆除対象であるものの、生物の生息場としての機能を保持しながら、

印旛沼の環境改善に資する刈り取り量、刈り取り方法の、さらなる検討が必要である。このような点を踏まえつつ、堆肥材料としての供給量、継続性の検証が必要であり、今後は、水生植物の駆除、駆除された水生植物の堆肥化、その利活用が、資源循環型河川管理の枠組みの中で、連動して実施されることが望まれる。また筆者らは、今回の実証実験の中では、ナガエツルノゲイトウ堆肥の副材として活用した堤防刈り草についても、堆肥材料としての活用を、河川管理者に提案している。堤防刈り草は、河川管理上、安定的に発生する資源であるため、資源循環型河川管理の枠組みへの組み込みが望まれる。

完成した堆肥については、安定的な供給という側面の他、安定的な利用者が必須である。これまでに、印旛沼近隣の水稲農家との意見交換の場を設け、堆肥受け入れの可能性を探ってきている。今後は堆肥の活用先として、有機野菜農家の畑、流域小学校での環境学習教材、学校や地域の花壇、公園緑地、街路樹等も視野に入れ、安定的な堆肥利用者の開拓を進め、地域に根差した枠組み構築を進めていく。

謝辞：本研究実施に際し、ご協力をいただいた千葉県河川環境課、成田土木事務所、印旛土木事務所、千葉土木事務所、印旛沼土地改良区、(有)大洋土づくりセンター、及びすべての関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 笠井貞夫：ナガエツルノゲイトウの出現 印旛沼－自然と文化－創刊号，pp.39-40，1994.
- 2) 松本潤：平成 17 年度近畿地方整備局管内技術研究発表会資料。
- 3) 肥料取締法に基づく特殊肥料等：昭和 25 年 6 月 20 日，農林省告示，第 177 号。
- 4) 原田靖生：平成 15 年度革新的農業技術習得研修資料，有機性廃棄物の堆肥化及び品質，中央農業総合研究センター。
- 5) 社団法人道路緑化保全協会：植物発生材堆肥化の手引き～緑のリサイクルの実現を目指して～，平成 10 年 6 月，pp57.
- 6) 肥料分析法：農林水産省農業環境技術研究所，1992 年版。
- 7) 財団法人リバーフロント整備センター：改訂版河川における外来種対策の考え方とその事例 主な侵略的外来種の影響と対策，pp258.
- 8) 堆肥の品質推奨基準：全国農業協同組合中央会，1993，一般財団法人畜産環境整備機構，畜産環境技術研究所，<http://www.chikusan-kankyo.jp/>.
- 9) 建設物価，2016・7 月号 pp892，建設副産物処理・処分情報(12) 建設副産物受入（公共施設），エコフロンティアかさま
- 10) 鏡味麻衣子：印旛沼において異常繁茂する水草オニビシの機能，東邦大学理学部公開講座資料 2014 年 7 月。

(2016.8.26 受付)

TRIAL TO DEVELOP A FRAMEWORK FOR A RESOURCE RECYCLING RIVER MANAGEMENT -AS AN EXAMPLE OF COMPOSTING *TARAPA NATANS* AND *ALTERNANTHERA PHILOXERODIES*-

Mayumi OYORI, Koji KATAGIRI and Yuichi KAYABA

Trapa natans and *Alternanthera philoxeroides* are expanding their habitat in Lake Inba-numa, which causes problems in the lake management. The lake administrator exterminates them, but they are wet and the disposal cost is expensive. *Alternanthera philoxeroides* can recover even from a piece of its fragments. Therefore it has to be disposed immediately after exterminating, so it is incinerated now. We propose to develop a framework for a resource recycling lake management by utilizing them as resources. We compost them using the hot fermenting technology by a private company. As a result, we were able to compost them and the cost was reduced from the former incineration.